The adaptability of high temperature on crops

Jen Hsien Weng and Fu-yao Kuo

Department of Botany, National Chung Hsing University

Taichung District Agricultural Improvement Station

ABSTRACT

High temperature stress is an important factor affecting the production of crops. Taiwan is located at low latitude of tropoical and sub-tropical regions, thus the weather conditions of all year-round is hot and humid, especially the long duration of high temperature in summer season have become the limiting factor for most of the cool-season vegetable.

On the other aspect, affected by human activity and development, it have produced many so called "green house gas", such as CO_2 and methane. The continued in crease of such gas in the atmosphere resulted in warm temperature of earth climate. As the development of quality agriculture, the application of facility production is increasing, and the high-temperature barrier of pipehouse or greenhouse is quite often. The effect of high temperature stress on crops is received attention in Taiwan recently. This article reviewed the recent research of the crops expression and reaction under high temperature stress, such as structure and stability of lipid and cell membrane. The reaction of respiration and photosynthesis, water physiology, transpiration and morphogenesis is also discussed.

臺灣不同期作水稻產量與氣象因素之關係

Studies on the relationship between rice yield of different crop seasons and climatic elements in Taiwan.

蔡 金 川[1]

Jin-Chuan Tsai

摘 要

本研究報告爲調查水稻期作間及區域間（台北、台中與高雄）產量之差異，並探討不同環境（期作、地區）與氣象因素之關係，再與產量潛能有密切關係之乾物質生產性狀之期作間及地區間差異之變化，作爲解釋其產量差異之要因。分爲三部份敘述：

1. 調查台北、台中與高雄1981～1990間之氣象記錄，及其十年間平均單位面積糙米產量（hg/ha）之期作間及地區間差異之探討：

第一期作由低氣溫、低日射量及低降水量而至高氣溫、高日射量與高降水量，第二期作恰好與此相反。平均氣溫除了七、八月之外高雄最高，日夜溫差台中在三個地區（台北、台中、高雄）處於最高，該地區日射量亦最高。並且除了八月之外台北皆出現最低日射量，但雨量方面大部份的月份台北最高。

第一、二期作之營養生長期及第二期作抽穗後穀粒充實期之累積氣溫、及累積日射量除了第一期作之累積氣溫之外，皆屬於高雄最高。至於第一期作各生育期及第二期作抽穗後穀粒充實期之累積雨量都是台北最高。

一般而言，第一期作稻穀產量高於第二期作，而台中除了第一期作稉稻之外皆居於最高產區。

2. 不同環境（期作、地區）之水稻產量與氣象因素之關係：

本試驗以稉稻台農67號與秈稻嘉農秈11號爲材料，於1977～1982年分別在台北及台中地區連續進行田間試驗，目的在探討氣象因素對產量的影響。

1 臺灣省農業試驗所農工系

第一期作移植後45日內平均氣溫及日射量與水稻產量表現爲正相關，並以台北地區最爲明顯，高氣溫與日射量可促進稻株分蘗，經由增加一株穗數而提高產量。

第二期作台北地區水稻移植後40日內平均氣溫與產量呈負相關，過高之溫度不利於稻株分蘗，因而導致產量降低，台中地區亦有相似表現，唯一株穗數及產量均較台北地區爲高。第二期作水稻抽穗後氣溫及日射量均大幅下降，可能致使結實率與千粒重降低，並且抽穗後28天之累積氣溫及累積日射量台中高於台北，則台中之氣象因素優於台北，較適合於穀粒發育，應爲產量較高的主要因素。

3. 水稻品種之乾物質生產性狀對於不同環境之反應：

本試驗以秈稉稻各十五個品種爲材料，分別於台北及台中進行兩期作之田間試驗，並於孕穗期、抽穗期、乳熟期及糊熟期取樣，測定葉面積及總乾物重，並求葉面積指數（LAI）、葉面積持續期（LAD）、作物生長速率（CGR）及淨同化率（NAR）。

由試驗結果得知，秈稉型品種第一期作之總乾物重、LAD及CGR皆高於第二期作，又台中大於台北地區。這些乾物質生產性狀與產量呈顯著性之正相關，則提高DMA、LAD及CGR有增產的可能。

關鍵詞：氣象因素、乾物質生產、葉面積持續期、作物生長速率。

ABSTRACT

There are distinguished differences in grain yield of rice between crop seasons and between locations in Taiwan. The possible influence of climatic elements on such differences was investigated to provide information for the improvement of both cultural practices and varieties

An investigation of the climatic elements in Taipei, Taichung, and Kaohsiung areas from 1981 to 1990 indicated that the trend of changes in temperature, solar radiation, and precipitation were from low to high in the first crop and from high to low in the second crop season. For the second crop, the day/night temperature difference and solar radiation were the highest in Taichung area. Solar radiation was the lowest while the precipitation was the highest in Taipei as compared to those of the other two areas. The cumulative temperature and solar radiation in the vegetative growth phase and the grain-filling period of the second crop were higher in Kaohsiung than in Taipei and Taichung areas. The cumulative precipitation in the whole growth course of the first crop rice and in the grain-filling period of the second crop rice was the highest in Taipei area. The grain yield of the first crop was consistently higher than that of the second crop rice. With the only exception of Japonica varieties in the first crop season, the grain yield was higher in Taichung than in Taipei and Kaohsiung areas.

By cultivating Japonica rice Tainung 67 and Indica rice Chianung Sen 11 in Taipei and Taichung from 1977 to 1982, it was found that the mean temperature and solar radiation within 45 days after transplanting were positively correlated to grain yield, especially in Taipei area. The higher cumulative temperature and solar radiation were beneficial to tillering and panicle number per plant, and subsequently resulted in higher grain yield.

In the second crop season, the mean temperature within 40 days after transplanting was negatively correlated to grain yield in Taipei area. Similar but less significant trend was also observed in Taichung. It was presumed that the over-optimal temperature impeded the tillering of rice plants. Significant decreases in temperature and solar radiation were recorded during the grain-filling period of the second crop rice, which might be important factors in causing lowered seed-setting percentage and 1,000-grain weight. The cumulative temperature and solar radiation in the 28 days after heading were significantly higher in Taichung than in Taipei area. This was suggested as the main cause of the higher grain yield in Taichung.

Fifteen varieties each of Japonica and Indica rice were cultivated in both Taichung and Taipei areas to study the yield physiology of rice plants through characters of dry matter production. Experimental results revealed that total dry matter accumulation (DMA), leaf area duration (LAD), and crop growth rate (CGR) were higher in the first than in the second crop, and higher in Taichung than in Taipei area. Positive correlations were also observed between these characters and grain yield in both crop seasons. It was suggested that measurements could be taken to elevate DMA, LAD and CGR for the purpose of enhancing grain yield.

Key words: Climatic elements, Dry matter production, Leaf area duration, Crop growth rate.

前　　言

水稻爲台灣最主要的作物，其栽培一般分爲兩期作，據台灣農業年報(1991)的統計，水稻耕作面積約45萬公頃，第一期作24萬公頃，第二期作21萬公頃，每公頃糙米（unpolished rice）之產量第一期作約4,400公斤，第二期作約3,500公斤即第二期作的產量較第一期作約低20％，類似之報告如林(1979)，黃(1979a)，鄔(1975)等及蔡(1978)。又由過去10年（1981～1990）來的統計資料（糧食局調查報告）顯示第一期作之單位面積產量（kg/ha）比第二期作高，而台中地區的糙米單位面積的產量較高於台北及高雄地區（第一期作稉稻除外），這表示台灣的稻作產量在期作間及地區間亦有很大的差異。

此兩期作或地區間產量的差異，據以往的報告[1,5,7]可歸於環境條件，品種因素及栽培管理等所引起。環境條件裡氣象因素爲最重要的一項，首先有關氣溫狀況，台灣各地之年平

均氣溫除了高山之外，皆在21℃以上。但是水稻生育期間之最高氣溫不一定高，因北迴歸線通過台灣中部的嘉義附近，故以位置言，台灣北部屬亞熱帶，南部已入於熱帶之範圍，則顯現出亞熱帶或熱帶氣候的特徵，即日夜溫差較小，並且夏冬季間之氣溫差更小，冬季後立即進入夏季，稻作期間之最低氣溫亦高。各期作之氣候變化，即第一期作由較低溫、低日射量至高溫、高日射量的條件下生育，與此相反第二期作自高溫、高日射量到低溫、低日射量，關於日照時數亦大致如此，則第一期作從短日照至長日照，第二期作再由長日照進入短日照的生育過程。

黃(1979b)及蔡(1978)曾指出，第二期作生育初期因高溫與高日射量，分蘗易受抑制，則成熟期穗數減少。又翁(1984)與劉(1979)認爲高溫使抽穗前莖葉裡貯藏的同化生產物有降低的趨勢，則抽穗後穀粒充實期之供源減少，影響產量的提昇。

地區間產量之差異，主要亦由於氣象因素的影響，即台中地區之氣溫、日照等比台北地區較適合於水稻生育，因此台中地區之稻作產量優於台北地區。

栽培管理方面，第一、二期作之插秧期愈南部愈早，越往北部越遲。但不論那一地區，第一期作之收穫至第二期作之移植期間，較第二期作之收割到第一期作之插秧期間爲短，前者爲10日～2週，後者是30～40日 。即前作後之作業期間，第二期作比第一期作更短，因此普通第二期作之耕耘、水管理等作業較粗放。

至於品種因素，台灣水稻育種工作，向以全省爲一整体，於第一期作與第二期作連續選拔。但第一、二期作的氣候條件不同，適合於第一期作栽培的水稻品種不一定能適應第二期作的氣候環境。因此台灣的傳統育種方法實有重新檢討的必要。

本報告乃調查 10年間（1981～1990）平均單位面積糙米產量（kg/ha）期作間及區域間（台北、台中、高雄）之差異，及其氣象因素之變化，並探討不同環境（期作、地區）與氣象因素之關係，再與產量潛能有密切關係之乾物質生產性狀之期作間及地區間差異之變化，作爲解釋其產量差異之要因。

材料與方法

本研究報告之進行大致分爲三部份：

1.水稻期作間與地區間產量之差異及氣象因素之變化：

調查台北、台中及高雄之10年間（1981～1990）平均單位面積糙米產量(kg/ha）及平均氣溫、最高、最低氣溫、日射量與雨量變化。資料分別取自糧食局與中央氣象局。

2.不同環境（期作、地區）之水稻產量與氣象因素之關係：

本試驗採用稉稻台農67號與秈稻嘉農秈11號爲材料，自1977年至1982年 ，每年兩期作分別於台北地區（國立台灣大學附屬試驗農場）與台中地區（台中縣霧峰鄉本所試驗農場）栽培試驗。第一期作之插秧日期在台北與台中分別2月27日至3月5日與2月23日至28日，第二期作兩地皆於7月27日至8月2 日之間進行。移植時之行株距爲25×20 cm，採多本植，小區面積爲8 m^2，重複三次，使用逢機完全區集設計。肥料（N：P_2O_5：K_2O）用量在第一期作爲134：58：54 kg/ha，第二期爲121:45:51 kg/ha；其他栽培管理依一般慣行法行之。水稻生育期間進行抽穗期調查，成熟期調查，產量及產量構成要素表現，其結果經變方分析，並求取有關產量性狀及氣象因素之年次間之相關關係。

氣象因素係以氣溫與日射量爲主，資料均係中央氣象局提供。

3.水稻品種之乾物質生產性狀對於不同環境之反應：

本試驗以秈稉稻各15個品種爲材料，其中稉稻：台中186號、高雄選1號、豐錦、台北309號、台農62號、台農67號、嘉農242號、台南5號、台南6號、高雄139號、新竹56號、台中65號、嘉南8號、高雄140號 、台東29號等，秈稻: 包葉菊 、矮腳南特、夾葉青8號、珍珠矮11號、南早32號、新竹矮腳尖、台中再來1號、台中秈2號、台中秈10號、嘉農秈8號、嘉農秈11號、台農秈12號、高雄秈7號、台中秈3號、嘉農秈6號 。同樣於上述兩地進行試驗。第一期作之插秧日期在台北與台中分別爲1981年3月5日及2月24日 ，第二期作分別爲1980年8月2日及7月27日，至於移植時之行株距、方式、田間設計，施肥及栽培管理亦與上述試驗相同。

水稻生育期間於孕穗、抽穗、乳熟及糊熟四時期分別自田間每品種採三小區十八叢之稻株，洗淨後立即採葉片 ，以自動測定儀測葉面積，剪去根部後把樣品放在100℃下通風乾燥箱1～2小時後,再以80℃處理至完全乾燥，秤量全乾物重 ，用全乾物重與葉面積以下列公式求葉面積指數（LAI）、葉面積持續期（LAD）、作物生長速率（CGR）與淨同化率（NAR）。

LAI=N × LA (N：單位面積之株數，LA: 1株的葉面積)

$$LAD=\frac{LAI_2-LAI_1}{InLAI_2-InLAI_1}(t_2-t_1)^{(21)}$$

$$CGR=\frac{W_2-W_1}{t_2-t_1}^{(21)} \qquad NAR=\frac{(W_2-W_1)(InA_2-InA_1)}{(t_2-t_1)(A_2-A_1)}^{(21)}$$

以上，N爲單位面積之株數，LA爲1株的葉面積，t_1及t_2分別爲前後採樣時期，W_1及W_2爲各時期所得之全乾物重，LA爲A_1，A_2。

結　　果

本試驗研究結果仍分爲三部份敘述：

1.水稻期作間與地區間產量之差異及氣象因素之變化：

由表1顯示台北、台中及高雄地區10年間平均單位面積糙米產量（kg/ha），第一期作較第二期作高，並且各地區皆呈現顯著性差異。至於地區間之差異，除了第一期作日本型水稻高雄地區出現最高產量，其他皆爲台中地區表現最高，而台北不論何種環境（期作、地區）皆爲最低產地區。台北與台中地區都呈現顯著性差異，第二期作各地區亦皆有顯著性差異。

從上述最近10年間之產量資料得知，台灣稻穀生產之期作間或地區間之顯著性差異仍然存在。

有關三地區（台、台中、高雄）之氣象因素（氣溫、日射量、雨量）變化如圖1所示，圖中資料仍爲10年（1981～1990）之平均值。水稻第一、二期作之插秧期南部高雄較早，其次是中部台中，最遲是北部台北，而各地區皆由第一期作之移植期低氣溫、寡日照，少雨量，而第二期作移植期到收穫期之氣溫、日照及雨量變化，與第一期作恰好相反，即由高氣溫、高日照、多雨量而低氣溫、寡日照、少雨量。

整年之平均氣溫除了7、8月台北最高之外，其他皆爲高雄最高，最低氣溫亦有類似的現象，而最高氣溫1月至5月及11、12月高雄最高，其他7、8月及6、9、10月分別爲台北與台中最高,至於最低氣溫除了4月之外都是台中最低，因此，整年日夜溫差台中最大，這可能有利於稻穀生產。

其他氣象因素，首先日射量方面，整年台中最高，日射能最充足。台北除了8月之外其他月份則最低，水稻生育期大部份處於低日射量，特別是開花期及第二期作之穀粒充實期往往日照不足。這與雨量整年變化類似，則台北大部份的月份雨量最高，又除了8月之外，其他皆比台中高雨量，這可能構成台北寡日照的因素，因日射量的變化與降水量有互爲消長的關係。至於高雄，6、7、8月都是雨量最高，達到352～435 mm/month。

2.不同環境（期作、地區）之水稻產量與氣象因素之關係：

試驗進行期間三個主要生育期（移植後45天或40天，抽穗前後各28天）之六年平均累積氣溫及累積日射量如表2所示，兩期作之累積氣溫除了第一期作抽穗後28天及第二期作移植後40天之外，台中皆爲較高，有關累積日射量方面，亦都屬於台中較高。由此可知台北第二期作之穀粒充實期處於低溫、寡日照下。至於其他月份之平均氣象因素與前項類似，在此省略。

圖2所示資料爲水稻產量及其構成要素的六年試驗平均結果，其中單株稻穀產量表現具有三項特點，即第一期作之產量高於第二期作，台北地區之產量不如台中地區，及台農67號較嘉農秈11號高產。

在產量構成要素方面，與稻穀產量具有相同變化趨勢者有一株穗數（台北地區第二期作之嘉農秈11號例外）及千粒重（圖2）；一穗穎花數及結實率在品種、地區或期作間缺少完全一致的變化趨向，唯兩性狀間呈互補作用，即一穗穎花數低者，其結實率常較高。

就一穗穎花數而言，台北地區以一期作高於二期作，台中地區的表現相反；第二期作嘉農秈11號一穗穎花數顯著以台中地區爲高，是導致地區間產量差異的最主要原因。

台北地區第一期作插秧後45日內及第二期作插秧後40日內平均氣溫與產量的關係示於表3；其中第一期作呈極顯著之正相關，亦即在低溫環境下，溫度升高可能經由增加穗數而提高產量；但第二期作則呈極顯著之負相關，應爲移植後正逢高溫，而過高之溫度不利於稻株產量生理的綜合表現。台北地區水稻抽穗前、後各四週的平均溫度與產量間之關係，除第二期作抽穗後平均溫度與產量爲正相關外，其他期作或時期則未顯現確切的相關關係。

台中地區的溫度與產量關亦列於表3；與台北地區不同者爲無論第一、二期作，插秧後45或40日內的平均溫度與產量均無相關。就抽穗前、後各四週之平均溫度而言，則除第二期作抽穗前之溫度與產量爲正相關外，其他之關係亦不明確。換言之，台中地區水稻產量表現受溫度作用的程度不及台北地區顯著。

台北與台中地區第一期作插秧後45日及第二期作插秧後40日內平均日射量與產量間的關係。其結果在台北第一期作爲極顯著之正相關，第二期作爲負相關，在台中地區兩期作之相關均未達顯著水準。台北地區抽穗前四週及第一期作抽穗後四週之平均日射量與稻穀產量亦無相關，但第二期作穀粒充實期間如能有較高的日射量，有助於產量的提升；台中地區抽穗前後日射量與稻穀產量間的關係則均不顯著。

至於產量構成要素方面，跟產量與上述氣象因素之關係類似，唯第二期作移植後40天兩地區（台北、台中）之穗數例外。

3.水稻品種之乾物質生產性狀對於不同環境之反應：

圖3顯示，稉型水稻品種之總乾物重隨著生育時期之移動而增加，而其他性狀反而出現遞減之趨勢。期作間之比較，第一期作之總乾物重、葉面積 及葉面積持續期（後兩者，台北地區之乳熟期～糊熟期除外）皆高於第二期作。至於地區間之比較，台中地區之總乾物重皆比台北地區大。葉面積指數及葉面積持續期，第一期作則台中地區較台北地區高，而第二期作正好相反，即台北地區較高。

由表4可知，上述之乾物質生產性狀與產量皆呈現正相關，其中總乾物重及LAD與產量間之相關係數皆較其LAI間之相關係數爲高，即總乾物重或LAD愈大則產量愈高。由這結果可知，這兩種乾物質生產性狀對於水稻品種的增產具有莫大的重要性。

有關孕穗期至糊熟期之作物生長速率（CGR）及淨同化率（NAR）之變動，及其期作間、地區間之差異，如圖3所示，稉型品種之CGR及NAR之變化，皆呈現山峰型，即抽穗期～乳熟期之CGR及NAR爲高峰，兩者（CGR、NAR）於A～B（孕穗期～抽穗期）及B～C（抽穗期～糊熟期）相差無幾，B～C與C～D（乳熟期～糊熟期）之差距較大，CGR約2.5～6.1 g・m^{-2}・day^{-1}而NAR約1.3～3.2 g・m^{-2}・day^{-1}。

期作間之差異，除了台中地區之第二期作NAR大於第一期作之外，其他第一期作之

CGR及NAR皆高於第二期作。

至於地區間之關係，除了第二期作稉稻之CGR（C～D；乳熟期～糊熟期）之外，其餘台中地區之CGR皆大於台北地區。而NAR的情形，除第一期作A～B（孕穗期～抽穗期）及C～D（乳熟期～糊熟期）NAR之外，其他皆爲台中地區較高。

兩者（CGR，NAR）之地區間差異，皆在第二期作A～B（孕穗期～抽穗期）或B～C（抽穗期～乳熟期）之生育期間差距較大。

至於秈型品種乾物質生產性狀之表現除了C～D（乳熟期～糊熟期）第一期作之CGR及第二期作之NAR之外，其他與稉型品種頗相似，則圖示省略。

由表4得知，孕穗期至糊熟期之CGR與產量間之相關係數，秈稉型品種不論期作或地區皆呈現顯著性之正相關，即兩型（秈稉）品種具有高CGR，其帶有高產的潛能。而該生育時期（A～D）NAR與產量之關係，唯第二期作台北地區出現顯著性之正相關。其餘相關係數低，無法看出水稻品種產量在不同環境條件下與NAR之關係趨勢。

討　　論

台灣水稻一年有兩期作，又有秈稉型品種，國民食米以稉型稻米爲主，據台灣年報(1991)之統計資料，台灣於1991年稻米兩期作之收穫面積秈稻型品種總計爲382,578公頃，稉型稻米收穫面積佔有98.2％，由此可見一般。而台灣位於中國大陸的東面海上，隔台灣海峽與福建相遙對，由本島及附近小島與澎湖群島所組成。本島狀如紡錘，略成南北向。北迴歸線適通過本島中部的嘉義附近，故以位置言，台灣北部屬亞熱帶，南部已入於熱帶之範圍。這地理環境對於台灣氣候的影響很大，所以大體言之，氣候溫暖，雨澤豐沛，但台灣幅員雖小，地形非常複雜，因此各地氣候很不一致。加以水稻第一期作由較低溫、低日射量至高溫、高日射量的條件下生育，第二期作與此相反自高溫、高日射量到低溫、低日射量（圖1）。如此地區性及期作性的氣候環境懸殊，構成稻作產量在地區上及期作間有很大的差異，尤其是期作間之差異在地區上有明顯的區別(鄔等 1975；蔡 1989)。由過去10年（1981～1990）來的統計資料（糧食局調查報告）如表1，顯示三地區（台北、台中、高雄）第一、二期作平均單位面積糙米產量（kg/ha），皆呈現顯著性之差異，即第一期作的單位面積產量均比第二期作高，其中高雄地區兩期作（第一、二期作）差異最大，第二期作單位面積產量比第一期作低約36～40％。據黃(1977)之報告，六十多年來（1912～1976），台灣的水稻第二期作單位面積產量比第一期作低約20％。如上述近十年來，此低產程度有增加之勢，尤其是南部高雄等地區爲甚。因此台灣稻米產量期作間及地區間差異性之嚴重問題，未見緩和反而有更甚之勢。

此期作間或地區間產量之差異，據以往的報告(林 1979；鄔等 1975；蔡 1989)可歸於環境條件、品種因素及栽培管理等所引起。環境條件裡氣象因素爲最重要的一項，而氣象因素的溫度與日射量等，因無法以人爲方式調節，對水稻生產的作用尤其受重視；因此爲求提高產量或其安定性，並緩和期作間及地區間產量差距之嚴重性，瞭解氣象因素對作物產量及生理的作用，實屬必要。有關此一問題試驗報告頗多[7,13,14,15,19,20,25]，以水稻爲例，國內即曾進行多年之豐歉試驗，但因所使用之品種時有更改，而栽培管理亦缺少一致，無法充份究明品種與環境的交感作用，是爲缺憾；又有關長期進行產量性狀試驗，並分析氣象因素影響效果的報告仍然少見。有鑑於此，筆者選用秈、稉稻品種，於1977至1982年間分別於台北及台中連續進行六年之田間試驗，除針對氣象因素及產量性狀予以詳細調查，以探討環境因素之作用外，並著重期作間的比較，以及地區間的差異，再以乾物質生產性狀之期作間及地區間差異之變化，作爲解釋其產量差異之要因。

綜合六年試驗之平均結果，得知第一期作與台中地區的產量分別高於第二期作與台北地區，與以往諸多研究報告均相符合[1,5,7,8,11]。在第二期作低產方面，一株穗數及千粒重爲重要的作用因子（圖2），由於移植後正逢高溫環境，如台北及台中地區移植後40～45日內之平均氣溫分別爲28.3℃及27.5℃，可能不利於水稻生長與分化；鈴木(1977)等指出水稻分蘗期平均氣溫在27℃以上時，分蘗能力即受抑制，穗數因而減少；在國內，黃(1979b)與蔡(1989)亦有類似報告，認爲第二期作水稻生育初期所逢高溫導致過度旺盛之營養生長，但使分蘗數減少，因而影響產量。本試驗台北地區第二期作移植後40日的累積氣溫較台中地區爲高（表2），且其40日之平均氣溫與產量或一株穗數呈顯著之負相關，即爲一項證明。

此外，高溫具有縮短營養生長期的作用[4,7]，Vergara (1966) 亦認爲水稻營養生長可影響穗部的發育與充實，並指出營養生長期愈長，則產量有愈高的趨向；Tanaka (1967) 等的報告認爲如將水稻生育日數適度延長至130-140，與較短的生育期比較，產量均有增加。本試驗中第一、二期作的平均生育日數分別爲131與112日，差距爲19日，而二期作的產量顯著低於一期作，可證明兩者間的關係。事實上，除水稻外，其他禾穀科作物也有相同的表現[22,23]。

水稻之平均粒重在品種內原爲一極穩定的性狀，但亦可能受栽培與環境條件的作用而產生變異；依據翁等(1984)與劉(1979)的研究，第二期作水稻抽穗前預貯於莖稈內的碳水化合物較第一期作爲少，可能不利於抽穗後穗部之充實及乾物質累積能力。賴(1979)認爲第二期作生育初期之高溫使土壤環境劣化，影響根系之氧化力，從而使活性降低，不利於抽穗後之穀粒充實，爲減產的重要因素。本試驗中第二期作水稻千粒重不如第一期作（圖2），產量亦低，可能與上述原因有關，值得再予探討。

日射量與氣溫同爲影響作物生長與產量表現的重要因子，在本試驗中，地區間與期作間的日射量差異頗大（圖1），應能對產量性狀產生重要的影響。第二期作水稻抽穗後穀粒充實期間日射量與氣溫均明顯下降，尤其台北地區如表2所示水稻抽穗後 28天之累積日射量（6668.4 cal/cm^2/day），遠不及台中地區（9140.1 cal/cm^2/day）；又鑑於台北地區第二期作水稻抽穗後四週之平均溫度及日射量與產量及結實率呈顯著性之正相關關係（表3），顯示不

良之氣象因素導致水稻低產。村田(1964)指出在21.1℃以下時，平均溫度與產量爲正相關，而低溫環境下日射量亦與產量呈正相關關係。另一方面，松島 (1972) 報告低溫使水稻養分吸收轉流等生理活性受阻，間接使同化作用及同化產物供應量降低，如再逢低日射量，減產程度將更爲嚴重。本試驗相關結果均能與上述推論符合，尤其以台北地區之稻作產量表現最能顯示氣象因素的不利作用。

第一期作值得注意的氣象因素作用爲移植後生育初期的低溫與低日射量（圖1），台北地區移植後45日內平均氣溫及日射量均與產量或一株穗數有正相關（表3），顯示產量受限於此一時期的低溫與低日射量，與村田 (1964) 的試驗結果相同。台中地區第一期作水稻生育初期的溫度與日射量均較台北爲高，可能爲兩個氣象因素與產量關係未達顯著水準（表3）及產量亦較高（圖2）的原因之一；不過由此一時期之溫度爲在20℃左右或以下，如能適度提高溫度，或仍有利於產量表現。

由前試驗結果[13]得知，水稻之產量於期作間或地區間皆有差異，再以乾物質生產性狀（總乾物重、LAI、LAD、CGR及NAR），作爲探討期作間或地區間產量差異之要因。並探討水稻秈稉型各十五個品種於不同期作（第一、二期作）或地區（台北、台中），對於上述性狀之表現狀況。如下列以分區作爲探討。

1.台北地區期作間乾物質生產性狀差異之原因

第一期作分蘗期天候漸好，至穀粒充實期平均氣溫及日射量各爲約 28℃與300 cal・cm^{-2}・day^{-1}左右，水稻之生育及穀粒充實良好，因此由圖 3 可知，稉稻生育中後期（孕穗期～糊熟期）乾物質生產性狀之總乾物重 、LAI、LAD、CG R及NAR幾乎都比第二期作高。IRRI (1970) 認爲水稻抽穗後保持充份的葉面積有利於乾物質生產。津野 (1970) 指出稻之豐收，需維持穀粒充實期作物生長速度之不墜而謝 (1979) 提及水稻生育中期及後期，NAR控制乾物質生產。又本試驗之結果（表 4 ）得知，這些乾物質生產性狀絕大部份與產量呈現正相關，即這些性狀表現愈大則產量愈高的趨勢，推測此爲第一期作之產量高於第二期作之要因。

尚且第二期作生育初期因高氣溫及高日射量，如此條件之下，水稻生育旺盛，營養生長期間有縮短的可能，如前述抽穗前儲藏於莖葉之同化產物，第二期作少於第一期作，加以第二期作抽穗後又遇低氣溫及低日射量，可能使光合成能力（photosynthetic capacity）及光合成效率（photosynthetic efficiency）減低[1]。基於上述理由 ，第二期作同化產物轉移至穀粒則有減少的可能 。而翁 (1984) 强調抽穗前儲藏於莖葉之碳水化合物乃抽穗後穗部之主要供源。則第二期作之減產乃抽穗前之高溫及抽穗後低溫、低日射量之天候所致。

2.台中地區第一、第二期作乾物質生產性狀差異要因及台北、台中地區該性狀差異之探討

台中地區第一期作移植後氣象條件與台北相近，至分蘗期兩地氣溫皆在22～23℃，但台中之日射量約260～300 cal/cm^2/day ，較台北之200 cal/cm^2/day左右高（圖 1 ），而移植後 45日之累積氣溫及累積日射量高於台北（表 2 ）。鈴木等 (1978) 指出，氣溫暖和地區水稻分蘗期處於低氣溫環境，充分的日射量，有助於穗數的增加。或許基於此理由，台中地區第一期作水稻分蘗期有較充分的日射量，有利於分蘗而增加其穗數。由前試驗得知台中地區第一期作之穗數高於第二期作，亦高於台北地區。謝 (1978) 曾指出水稻抽穗期或抽穗前其穗數與葉面積指數呈現高的正相關，即穗數的增加葉面積指數有提昇的趨勢。本研究亦顯示台中地區第一期作之LAI及LAD高於第二期作及台北地區（圖 3 ），同時台中地區各生育時期（孕穗期～糊熟期）第一期作之CGR大於第二期作，由蔡 (1990) 指出，孕穗期至糊熟期之累積CGR台中地區大於台北地區，而兩地區累積之NAR（孕穗期～糊熟期）相近。津野 (1970) 認爲NAR與LAI之乘積爲CGR，並且穀粒充實期、作物生長速率之累積，幾乎與產量一致。因此爲要提昇產量，須維持穀粒充實期間之作物生長速率而不衰減。尙且本研究之總乾物重亦高於第二期作及台北地區。

基於以上之探討得知，台中地區第一期作之產量高於第二期作及台北地區，主要由於穗數及葉面積等性狀所致。其次第二期作生育初期兩地區之氣象條件相近，台中地區平均氣溫約30℃，最高氣溫亦接近35℃，分蘗易受抑制，導致穗數的減少，可能因此穗數較第一期作少。陳 (1979) 指出 ，本省第二期作稻分蘗期間之高氣溫（30℃）乃構成限制分蘗數之最主要生育環境條件。鈴木 (1978) 等亦認爲水稻分蘗期間氣溫愈高穗數會趨於愈少。此乃稻二期作穗數較少之論點的佐證。如上述水稻抽穗期或抽穗前之穗數與LAI呈現高的正相關 ，因此第二期作穗數的減少影響其他乾物質生產性狀（LAD、CGR及總乾物重）的下降，而不如第一期作（圖 3 ）。

至於第二期作生育後期（抽穗期至成熟期），台中地區之平均氣溫（21～25 ℃）及日射量（270～310cal/cm^2/day）高於台北地區（平均氣溫16～20℃ ，日射量155～190cal /cm^2/day），而表 2 所示，台中抽穗後28日之累積氣溫（693℃）及累積日射量（9140.1 cal/cm^2/day）亦高於台北（累積氣溫640.3℃ ，累積日射量6668.4 cal/cm/day）。此氣象條件有利於乾物質生產，因此台中地區之總乾物重及CGR（圖 3 ）大於台北，又由於CGR與產量呈現顯著性之正相關（表 4 ），導致產量高於台北地區。

綜合本試驗之結果與探討得知，不論期作或地區水稻生育過程中影響產量豐歉與否主要在於穗數與葉面積指數等性狀，其他總乾物重、LAD及CGR等亦與產量潛能有關 。

氣象條件不能以人爲方法改變，換言之，如欲針對氣象因素的影響而謀求提高產量，仍宜由品種及栽培方法之改良著手。以第二期作之品種爲例，理論上應選用生育初期適宜高溫品種，以求提高穗數及莖稈內貯存性碳水化合物之累積；而抽穗後又較能適應低溫與低日射量，使同化作用與轉運效率不致過度降低，應能有利於產量表現。除了育種之外，栽培技術之改良亦是提昇產量之有效途徑，本研究室正進行「氣象因素對水稻產量及乾物質生產性狀之影響」試驗，爲觀察氣象因素與水稻生育各期之乾物質生產性狀（總乾物重、LAI、LAD、CGR等）及收穫期產量之關係，在水稻之生產現場，把握氣象因素之變化經過而對各生育時期之生育狀態，作精確之評定，日後建立統計學的模式，由氣象因素作

爲預測適時之施肥、灌排水及病蟲害防治之栽培管理技術，以提昇或穩定水稻產量爲目的。

引用文獻

1.林安秋. 1979. 一、二期作水稻群落光合作用之比較。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集 p.85-90. 行政院國家科學委員會研討會專集第二號行政院國家科學委員會。臺北。

2.翁仁憲, 陳清義. 1984. 臺灣水稻之光合作用, 物質生產及穀實生產特性。第一、二期作水稻之物質生產與穀實生產特性 。中華農學會報 125:4-13.

3.陳建山. 1979. 第一、二期作水稻之分蘗特性比較 。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集。p.61-74. 行政院國家科學委員會研討會專集第二號。行政院國家科學委員會。臺北。

4.黃眞生. 1977. 水稻第二期作低產之原因。中華農學會報 100: 22-33.

5.黃眞生. 1979a. 臺灣水稻第二期作之低產情況 。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集。p.23-27. 行政院國家科學委員會研討會專集第二號行政院國家科學委員會。臺北。

6.黃眞生. 1979b. 臺灣水稻第二期作低產之原因。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法及其解決方法研討會專集。p.29-36. 行政院國家科學委員會研討會專集 第二號。行政院國家科學委員會。臺北。

7.鄔宏潘, 廖雲英, 錢美華, 林燦隆, 陳一心, 王銀波, 蔡國海, 吳來貴, 張萬來, 林富雄, 吳育郎. 1975. 第二期作低產原因之探討。科學發展月刊 3(10): 5-39.

8.劉大江. 1979. 水稻各生育期溫度對碳水化合物累積與轉流之影響 。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集。p.101-111. 行政院國家科學委員會研討會專集 第二號。行政院國家科學委員會。臺北。

9.台灣農業年報。1991 台灣省政府農林廳 p.26-27.

10.蔡金川. 1978. 水稻生育各期溫度及遮光對產量及其構成因素之影響。科學農業 26(5-6): 194- 201.

11.蔡金川. 1989. 氣溫與日射量對水稻期作性與地區性產量差異之影響。中華農業研究 38(1): 19-29。

12.賴光隆. 1979. 水稻根群形成的特性與活力之診斷 。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集 p.77-84. 行政院國家科學委員會研討會專集 第二號 行政院國家科學委員會。臺北。

13.謝昱璋. 1978. 硝酸態氮及氨態氮對水稻群落光合作用構成因子與產量構成因素的影響。科學發展月刊 6(9):828-841。

14.謝昱璋. 1979. 一、二期作水稻之生長與光合作用構成因子 。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集。p.91-100.行政院國家科學委員會研討會專集 第二號 行政院國家科學委員會。臺北。

15.村田 吉男. 1964. わが國の水稻收量の地域性に及ぼす日射と溫度の影響について. 日作紀 33:59-63.

16.松島 省三. 1972. 稻作の理論と技術. 養賢堂, 東京, p.219-225.

17.津野 幸人. 1970. イネの科學ー多收技術の見方考え方。農山漁村文化協會。

18.翁仁憲, 武田友 四郎, 縣和一, 箱山晉. 1982. 水稻の實生產に關する物質生產的研究 第一報 出穗期前に貯藏された炭水化物および出穗後の乾物生產が子實生產に及ぼす影響 日作紀 51(4):500-509.

19.鈴木 守, 中村 公則. 1977. 暖地における水稻の乾物生產と氣象要因ならびに太陽ェネルギー利用率について 日作紀 46(4):530-536.

20.鈴木守, 中村公則. 1978. 暖地水稻の收量成立過程における氣象要因の影響にする二、三の解析, 日作紀 47(4):529-535。

21.蔡金川. 1990. 台灣における水稻育種のための生態學的研究, 學位論文,東京大學出版。

22. Askel, R. and L. P. Johnson. 1961. Genetic studies in sowing-to-heading and heading-to-ripening periods in barley and their relation to yield and yield components. Can. J. Genet. Cytol 3:242-259.

23.Bingham, J. 1969. The physiological determination of grain yield in cereals. Agric. Prog. 44: 30-42.

24. International Rice Research Institute. 1970. Annual Report, p.30-140. Los Banos, philippines.

25.Tanaka, A. and B. S. Vergara. 1967. Growth habit and ripening of rice plants in relation to the environmental conditions in the Far East I.R.C. Newsl. (Special issue), 26-42.

26. Vergara , B. S., A. Tanaka, R. Willis and S. Puranabhavung. 1966. Relationship between growth duration and grain yield of rice plants. Soil Sci. Plant Nutr. 12(1):31-39.

Table 1. Brown rice yield (kg/ha) for japonica and indica rices averaged over 10 years (1981-1990) in Taipei, Taichung and Kaoshiung districts.

Type	District	1st crop	2nd crop
Japonica	Taipei	2, 996. 9 a	2, 262. 4 a
	Taichung	4, 406. 2 b	3, 998. 0 b
	Kaoshiung	4, 576. 0 b	2, 948. 9 c
Indica	Taipei	2, 125. 6 a	1, 697. 2 a
	Taichung	4, 435. 8 b	3, 997. 1 b
	Kaoshiung	4, 368. 2 b	2, 643. 9 c

Note: 1)Source: Taiwan Food Statistics Book, Food Bureau, Taiwan Provincial Government.

2)Brown rice yield (kg/ha) of all districts were significantly different at two crop seasons.

3)Values followed by the same letter do not differ significantly at 5% level of probability.

Table 2. Accumulated air temperature[1)] and total integrated solar radiation[1)] at three rice growth stages.

	accumulated air temperature(℃)			total integrated solar radiation($cal/cm^2/day$)		
	45(or 40) DAT[2)]	28 DBH[3)]	28DAH[3)]	45(or 40) DAT[2)]	28 DBH[3)]	28DAH[3)]
1st crop						
Taipei	894. 2	693. 5	797. 0	8589. 1	6496. 7	9051. 4
Taichung	910. 8	721. 9	752. 6	12086. 0	9368. 4	9303. 0
2nd crop						
Taipei	1141. 7	735. 8	640. 3	14130. 5	8902. 4	6668. 4
Taichung	1120. 6	766. 7	693. 7	14536. 2	10813. 0	9140. 1

Note：1) Average of six years from 1977-1982.

2) Data was indicated as 45 days after transplanting for the first crop and 40 days after transplanting for the second crop.

3) Refer to Table 3 for description of symbols.

Table 3. Correlation coefficient of climatic elements[1)] and yield and yield components of rice at growth stages.

	Taipei						Taichung					
	mean daily temperature(℃)			mean solar radiation($cal/cm^2/day$)			mean daily temperature(℃)			mean solar radiation($cal/cm^2/day$)		
	yield (g/hill)	panicle (no./hill)	seed setting(%)	yield (g/hill)	panicle (no./hill)	seed setting(%)	yield (g/hill)	panicle (no./hill)	seed setting(%)	yield (g/hill)	panicle (no./hill)	seed setting(%)
1st crop												
45 DAT[2)]	0.73**	0.64	—	0.87**	0.91**	—	0.55	0.19	—	0.50	0.84*	—
28 DBH[2)]	0.05	—	—	0.44	—	—	0.24	—	—	0.21	—	—
28 DAH[2)]	-0.17	—	-0.28	-0.14	—	-0.29	-0.07	—	-0.14	0.46	—	-0.26
2nd crop												
40 DAT[2)]	-0.74**	-0.88**	—	-0.68**	0.23	—	0.46	-0.90*	—	0.05	-0.12	—
28 DBH[2)]	0.35	—	—	0.52	—	—	0.59*	—	—	0.34	—	—
28 DAH[2)]	0.78**	—	0.84**	0.61*	—	0.85*	0.17	—	0.29	-0.09	—	0.32

Note：1) Climatic data were average of six years (1977-1982).

2) DAT,DBH, DAH stand for days after transplanting, days before heading and days after heading, respectively.

3) *,**: Significant at 5% and 1% level, respectively.

Table 4. Correlation coefficients between grain yield and characters related to dry matter production for Japonica and Indica rice cultivars

Characters	First Crop				Second Crop			
	Taipei		Taichung		Taipei		Taichung	
	Japonica	Indica	Japonica	Indica	Japonica	Indica	Japonica	Indica
Total dry wt.4)	0.92**	0.91**	0.92**	0.78**	0.97**	0.85**	0.88**	0.80**
LAI3)	0.23	0.19	0.54**	0.66**	0.59*	0.14	0.56*	0.63*
LAD2)	0.96**	0.83**	0.87**	0.85**	0.93**	0.94**	0.90**	0.97**
Leaf N3)	-0.15	-0.27	-0.24	-0.11	-0.06	-0.05	-0.16	-0.45
CGR1)	0.90**	0.87**	0.76**	0.73**	0.89**	0.81**	0.73**	0.61**
NAR1)	0.36	0.28	0.37	0.23	0.63*	0.74**	0.27	-0.07

Note:

1)from booting to dough stage

2)duration from heading to milky stage

3)at heading

4)at maturity

5)*and **are significant at 5% and 1% levels, respectively.

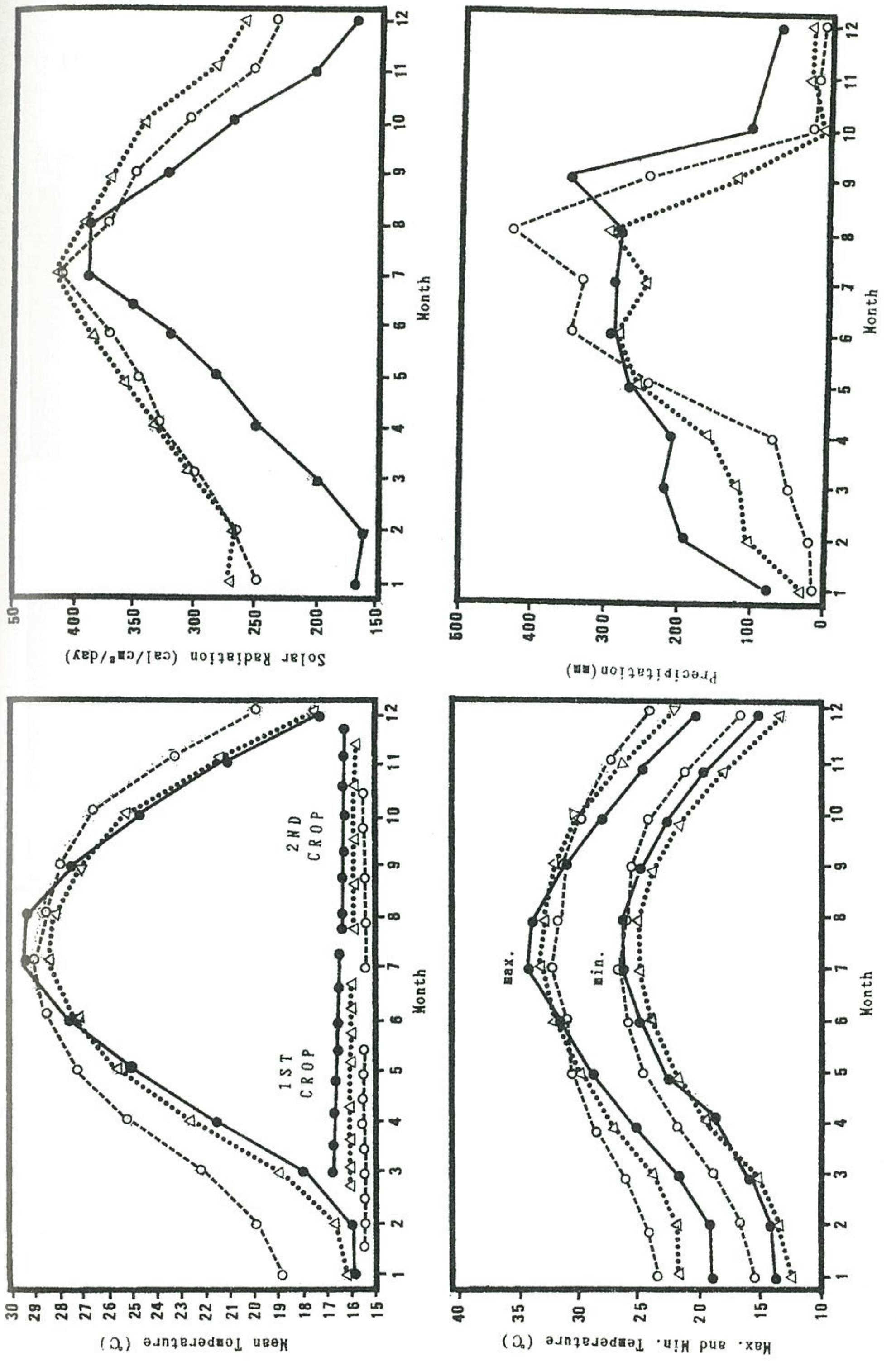
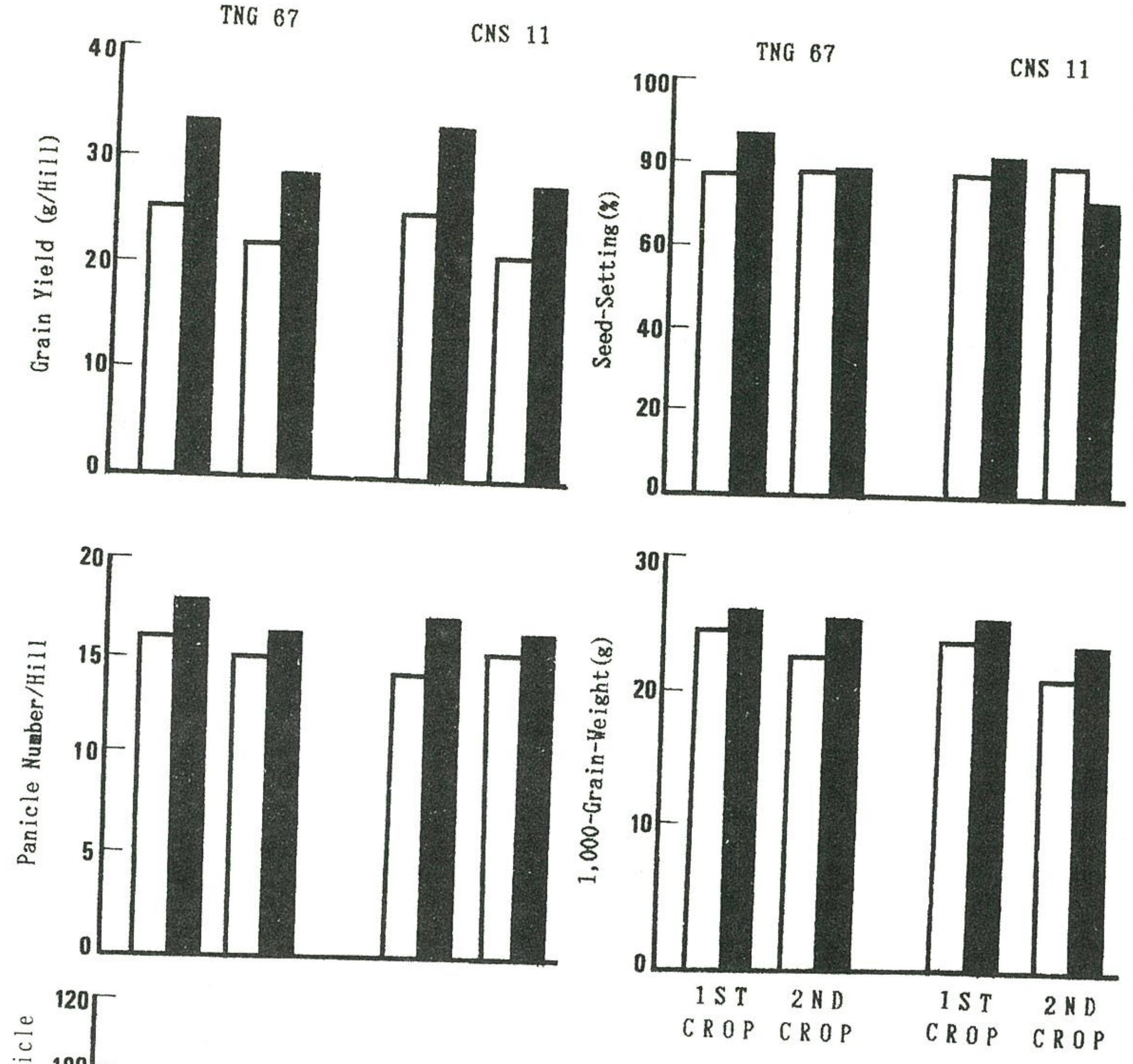


Fig 1. Average monthly change of temperature, solar radiation and precipitation during 1981-1990.
●: Taipei, △: Taichung, ○: Kaoshiung



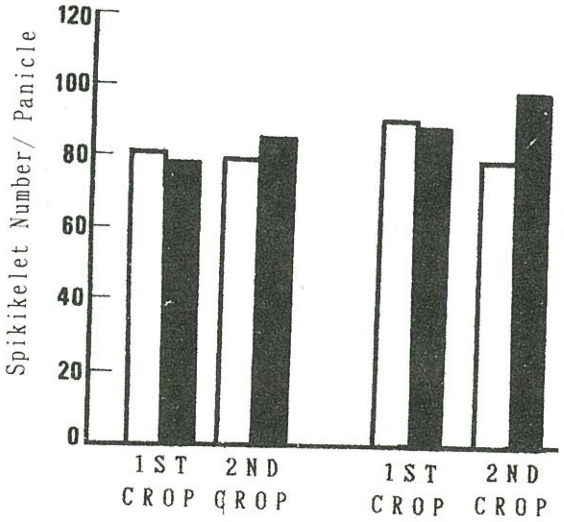


Fig 2. Grain yield and yield components of rice cultivars Tainung 67 (TNG 67) and Chianung Sen 11 (CNS 11) cultivated in Taipei (□) and Taichung (■) districts. (average of six years from 1977-1982)

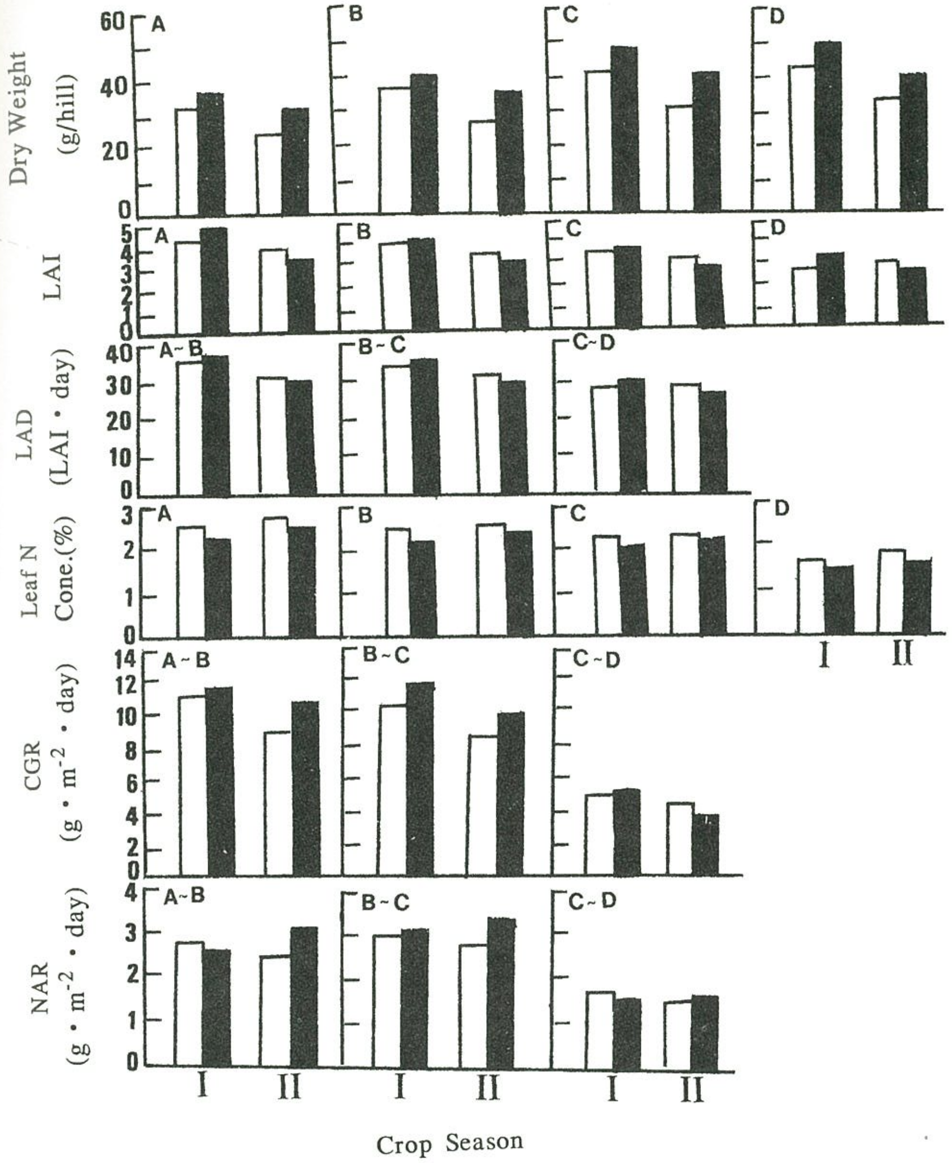


Fig 3. Changes of total dry weight, leaf area index(LAI), leaf area duration(LAD), leaf N concentration(%), crop growth rate(CGR) and net assimilation rate(NAR) of Japonica rice cultivars stages of development. Results are means of 15 cultivars.

A: booting stage; B: heading stage; C: milk-ripe stage; D: dough stage. I: lst crop, II: 2nd crop, □: Taipei; ■: Taichung